АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

Н. И. ДОБРОНРАВОВ

БЕСЕДА О КОЛЕСЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1951

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Колесо представляет собою одно из величайших изобретений человеческого гения. Его история уходит далеко вглубь веков. За многие тысячелетия колесо прошло длинный путь развития, породив многочисленные и разнообразные приспособления, вызванные к жизни потребностями общества. Предлагаемая книга ныне покойного известного советского физика Николая Ивановича Добронравова (1890–1949) представляет собою попытку, с одной стороны, показать, как развились отдельные пути применения колеса и выросли различные виды приспособлений и машин, с другой — объяснить некоторые специфические особенности этих приспособлений и форм колеса…

- Николай Добронравов
  -
  - Предисловие редактора
  - Предисловие автора
  - I. Колесо как средство передвижения
  - II. Колесо и развитие машин
  - III. Колесо как средство передачи и преобразования вращательного движения
- notes
  - 1
  - 2

Николай Добронравов
БЕСЕДА О КОЛЕСЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

Н. И. ДОБРОНРАВОВ

БЕСЕДА О КОЛЕСЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва—Ленинград

1951

Предисловие редактора

Колесо представляет собою одно из величайших изобретений человеческого гения. Его история уходит далеко вглубь веков. За многие тысячелетия колесо прошло длинный путь развития, породив многочисленные и разнообразные приспособления, вызванные к жизни потребностями общества.

Предлагаемая книга ныне покойного известного советского физика Николая Ивановича Добронравова (1890–1949) представляет собою попытку, с одной стороны, показать, как развились отдельные пути применения колеса и выросли различные виды приспособлений и машин, с другой — объяснить некоторые специфические особенности этих приспособлений и форм колеса.

Несомненно, что колесо как основной элемент современной техники заслуживает глубокого исторического исследования, и предлагаемая книжка ни в какой мере не может на него претендовать, хотя бы уже в силу своего небольшого объема. Автор поставил перед собой задачу — обратить внимание широких кругов читателей на то, сколько кропотливого труда поколений, какая огромная работа человеческого ума вложена в столь, казалось бы, простое и обычное орудие, каким в наше время представляется колесо.

Краткая беседа о колесе должна, как нам кажется, привлечь интерес читателей к такому огромному и важному вопросу, каким является история развития техники. Мы надеемся, что эта небольшая книжка заставит внимательного читателя призадуматься над историей развития очень многих и очень привычных машин и орудий.

Над «Беседой о колесе» Николай Иванович Добронравов работал перед самой смертью. Рукопись осталась не вполне законченной, и мы попытались восполнить некоторые имевшиеся в ней пробелы.

Предисловие автора

Стоило ли писать книжку о колесе? Ведь мы видим его каждый день и настолько к нему привыкли, что, кажется, не сможем найти в нем ничего нового. Мне представляется, что это не верно.

Полезно иногда собрать, пусть и хорошо известные, мысли: даже простое их сопоставление может дать повод для размышлений и установления новых точек зрения, подобно тому как при каждом новом чтении хорошо знакомой книги всегда отыскиваются не замеченные раньше подробности. Иногда же при чтении книги, в особенности если мы читаем ее много лет спустя, она воспринимается нами совершенно не так, как, скажем, в детстве. К тому же только излишняя самоуверенность позволяет нам порою думать, будто мы знаем что-либо «до конца». Нет такой простой вещи, в которой нельзя было бы найти какую-нибудь новую подробность или же, сопоставив эту вещь с другими, — новое интересное соотношение.

Открытие вращательного движения произошло у различных народов в разные времена. Оно сопровождалось постепенным изобретением многочисленных технических приспособлений и новых путей использования вращательного движения.

Наиболее ярким представителем вращательных устройств является колесо. Оно стало уже в древнейшие времена своего рода образцом движущегося устройства. Там, где человек имел перед собою движущийся круглый предмет, он был склонен видеть аналогию с поразившим его воображение орудием — колесом.

С колесом люди стали сравнивать даже солнце, которое они знали издавна и движение которого ежедневно наблюдали. Так, например, древние египтяне изображали солнце в виде круглого диска, снабженного крыльями. Древние греки полагали, что бог солнца Гелиос и богиня луны Селена каждый день проезжают по небу на своих колесницах. Наши предки славяне, празднуя смену времен года в день «солнцеворота», спускали с горы в воду зажженное колесо, изображавшее солнце. Здесь мы видим символ и обряд, тесно связанные с трудовой жизнью народа.

По мере изменения социально-экономических условий и повышения уровня культурного развития народов, колесо стало служить не только как идеальный образец движущихся предметов, но и как символ неуклонного движения, символ смены событий. В различные эпохи, на различных ступенях социального развития, этот символ прилагается к различным

процессам. Так, например, в эпоху разложения рабовладельческого строя в древнем Риме колесо стало символом быстрой смены имущественного положения. Это была эпоха, когда огромные состояния наживались за короткое время, но еще быстрее они терялись. Римляне полагали, что богиня счастья Фортуна одаряет одних и отнимает у других, руководствуясь случайными капризами, которые могут измениться каждую минуту. Поэтому в ту эпоху богиню счастья стали изображать опирающейся одной ногой на крылатое колесо.

Другой смысл приписывали колесу буддийские жрецы древней Индии. Они стремились убедить тяжко эксплуатируемый нищий народ, что незачем ему стремиться к земным благам, что мир есть только беспрерывная смена рождений и смертей. Наглядным символом этого бесстрастного чередования они избрали «колесо жизни», поэтому Будда часто изображался рядом с колесом.

В наше время колесо служит новым символом, символом постоянного поступательного движения вперед. Так, мы говорим о «колесе истории», понимая под этим неуклонное, безостановочное движение человеческого общества вперед по пути прогресса.

I. Колесо как средство передвижения

Животные при постройке своих нор и логовищ и для прокормления детенышей должны перетаскивать строительный материал и пищу. Кто не видел, как муравьи тащат в свой муравейник хвою, червяков, травинки и гусениц. Они суетливо копошатся и волокут ношу, превышающую их самих не только по размерам, но и по весу. Так поступают почти все животные. Только в сравнительно редких случаях, вместо того чтобы тянуть свою добычу, животное начинает катить ее. Так египетские жуки-скарабеи из навоза скатывают шарики, в которые вкладывают яички, с тем чтобы личинки были обеспечены пищей. Есть много рассказов о том, как лисицы подкатывают свернувшегося ежа к воде, чтобы схватить его за не защищенное иглами брюхо, когда он развернется и поплывет.

Таким образом, в животном мире можно встретить немало случаев бессознательного использования вращательного движения.

Первобытным людям, жившим в теплом климате и питавшимся кореньями, плодами и случайной добычей, не было надобности затрачивать много труда для удовлетворения своих немногочисленных потребностей. Они ютились в шалашах или пещерах и пищу находили поблизости от жилья. Когда позднее люди стали с помощью охоты добывать себе еду, а шкуры убитых зверей употреблять для изготовления одежды, когда охотникам и рыболовам приходилось часто удаляться от становища, возникла необходимость перетаскивать убитую дичь и передвигаться самим. Легче всего было передвигаться по воде. На тяжелых, неуклюжих плотах, сделанных из случайно упавших в воду стволов деревьев, было легко спускаться вниз по реке. На легких плотах, отталкиваясь шестом, можно было двигаться и против течения. Много позднее люди научились выжигать, а потом и выдалбливать стволы деревьев и делать из них простейшие лодки. Деревья для этих лодок они выбирали, конечно, поближе к берегу.

Но бывало так, что наиболее подходящее дерево росло не на самом берегу; тогда возникала необходимость дотащить бревно до воды. Надо полагать, что при этом наши далекие предки заметили, что катить его гораздо легче, чем тянуть. В самом деле, как мы знаем, когда одно тело скользит по поверхности другого, возникает сила, препятствующая движению. Это — сила трения скольжения. Когда одно тело катится по поверхности другого, также возникает сила, препятствующая этому движению. Это —

сила трения качения. Трение скольжения больше трения качения, поэтому катить легче, чем волочить. Однако катить можно только по гладкому месту, катить же в лесу нельзя: если бревно длинное, оно все время будет наталкиваться на деревья. Волей-неволей, а приходилось тянуть его вдоль. Проделывая много раз эту утомительную работу, первобытные люди заметили, что тянуть ствол легче, если он скользит не по земле, а по корням или по упавшим стволам менее крупных деревьев. Тогда, для облегчения этой работы, стали подкладывать специально на пути катящегося ствола куски дерева. Естественно было заметить, что особенно облегчалась работа тогда, когда эти куски дерева оказывались сами прямыми и круглыми и, в свою очередь, могли катиться по земле. Так был изобретен каток— предшественник колеса.

Не нужно думать, что это первобытное изобретение с течением времени устарело. Его применяли и тогда, когда развился рабовладельческий строй. Огромные камни для пирамид и дворцов рабы передвигали с помощью первобытных катков на значительные расстояния к месту постройки. На рис. 1 изображено изваянное из камня украшение одной из стен дворца ассирийского царя Сенахериба.

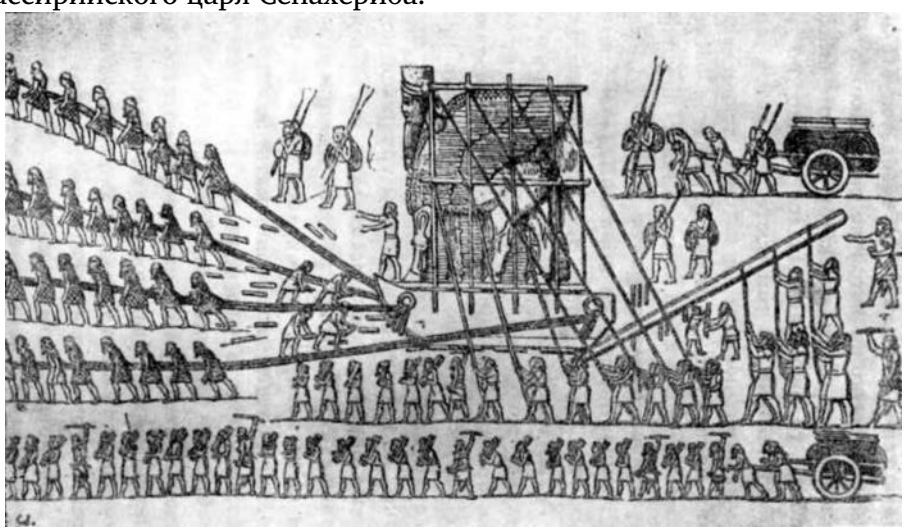

Рис. 1. *Перевозка на катках крылатого каменного быка в древней Ассирии.*

Мы видим, как крылатого быка тянут на насыпь, подкладывая катки под деревянный помост, на котором он стоит.

Катки остались в качестве вспомогательных орудий и в наше время, но применяются они лишь тогда, когда требуется перемещать тяжелые грузы на очень небольшие расстояния. Никому не придет теперь в голову перетаскивать тяжелые предметы издалека на катках, для этого уже много веков тому

назад изобретены повозки.

Повозка была сделана, несомненно, на много тысячелетий позднее, чем изобретен каток: сама надобность в повозке могла возникнуть только тогда, когда имелось что перевозить и приходилось передвигать грузы на сравнительно большие расстояния. У первобытных охотников еще не было потребности в усовершенствовании транспортных средств. Их имущество было столь несложно и мало, что, при перемене места охоты, они либо могли взять его с собой, либо же бросить без особого сожаления. Когда же добыча оказывалась обильной и ее нельзя было унести на собственных плечах или приволочь на примитивных волокушах, охотники предпочитали сами переселяться к месту добычи. Только после перехода к скотоводству и земледелию, когда систематические переселения стали необходимы для смены пастбищ, а домашний инвентарь был уже более сложным, — только тогда потребовались специальные приспособления для перевозки грузов и была использована тягловая сила животных. Примитивная волокуша в это время начала заменяться повозкой.

Но колесные повозки возникли далеко не сразу. Не везде имелись условия, благоприятствовавшие их появлению. Колесные повозки не могли возникнуть ни в лесу, ни в горах, где из-за бездорожья все равно нельзя было бы их использовать, ни в песчаных полупустынных степях, ни в болотистых тундрах, где летом колеса увязали бы во мху и песке, а зимою— в снегу. Первые колесные повозки должны были появиться там, где почва благоприятствовала их применению, где оказывался строительный материал для их изготовления. Эти условия имелись в травянистых степях, где почва ровная и твердая, а по лощинам росли деревья.

Повозки можно рассматривать как усовершенствование первобытного катка. Если вначале подкладывали катки непосредственно под перетаскиваемый предмет, например под бревно, то с течением времени стали делать помост с полозьями или лежнями по краям, на который клали груз; катки же подводились под лежни помоста так, что они выступали из-под него. При этом приходилось все время подкладывать катки спереди и подбирать их позади помоста, что сильно замедляло передвижение.

У древних «изобретателей» должна была возникнуть мысль: нельзя ли обойтись одним катком, не дав ему выскальзывать из-под помоста? Два сучка на крайних брусьях-лежнях помоста прекрасно решали эту задачу. Так был изобретен первобытный подшипник. Однако новое удобство повело и к некоторому ухудшению: повозка стала тяжелее на ходу. Объясняется это

очень просто: раньше обычно ни каток не скользил по земле, ни лежни по катку. Если же каток не мог выходить из-под помоста, то он перекатывался только по земле и скользил по лежням. В том месте, где каток соприкасался с лежнями помоста, и каток и лежни истирались, на них появлялись желобки. Трущиеся части нагревались; от нагрева и от стирания на поверхности дерева появлялась смола, образуя смазку, что уменьшало силу трения. Как только образовывалась «шейка», ход повозки становился легче, т. е. перевозка одного и того же груза требовала меньше усилий. Происходит это вследствие того, что «путь» трущейся о лежни части катка при каждом обороте становится меньше во столько же раз, во сколько поперечник шейки меньше поперечника необтертой части катка. Сила же трения, как известно, не зависит от величины трущихся поверхностей. Таким образом, сила оставалась постоянной, а «путь» уменьшался. Поэтому работа, измеряемая произведением силы на путь, становилась меньше. (В данном случае, под путем надо понимать не перемещение самой повозки, а перемещение трущейся части катка относительно «неподвижных» лежней).

Со временем стали умышленно обрабатывать каток, например посредством обжигания, таким образом, чтобы вся средняя его часть была тоньше, а боковые оставались неизменными. Каток расчленился: середина его образовала «ось», а боковые части — «колеса». Получилось то, что в настоящее время называется «скат».

Позднее отдельно стали изготовлять ось и колеса. Однако колеса наглухо насаживались на ось. Пример такого ската можно обнаружить на изображении древнеримской военной повозки, где видны прямоугольные концы осей (рис. 2).

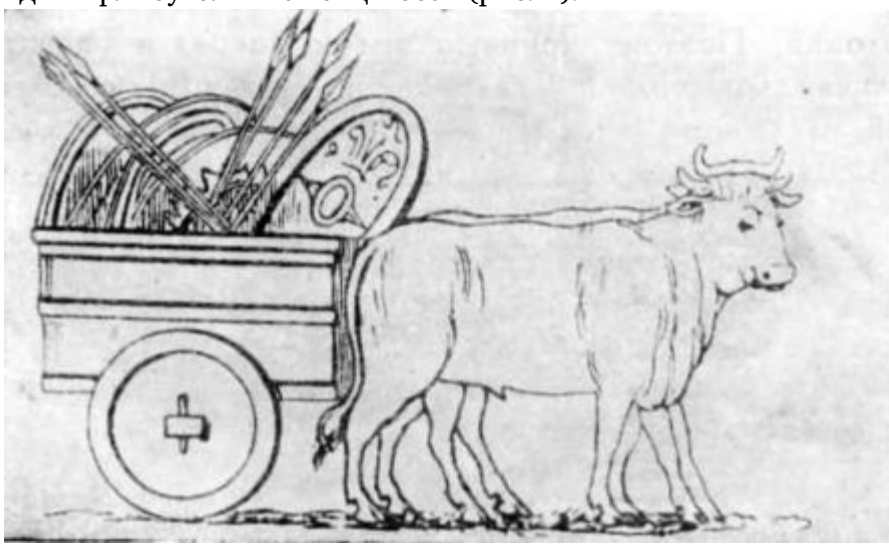

Рис. 2. *Древнеримская военная повозка с колесами, наглухо насаженными на ось (скат).*

Это примитивное устройство сохранилось в крестьянской телеге, заснятой в 90-х годах прошлого столетия. На рис. 3 ясно видно, что ось этой телеги вращается одновременно с колесами.

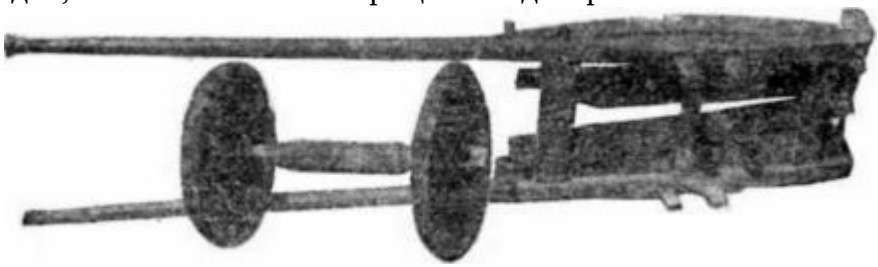

Рис. 3. *Скат в русской крестьянской телеге конца XIX в.*

Смазку оси стали тоже производить искусственно, применяя для этого выкуренную смолу — деготь.

Не следует думать, однако, что в отличие от обычных колес скат (глухая насадка колес на ось) — технически плохое решение вопроса. Наоборот, скат имеет даже немаловажные преимущества перед обычным колесом, насаженным на неподвижную ось: он проще в изготовлении и прочнее. Поэтому его и сейчас применяют во всех современных паровозах и железнодорожных вагонах (рис. 4).

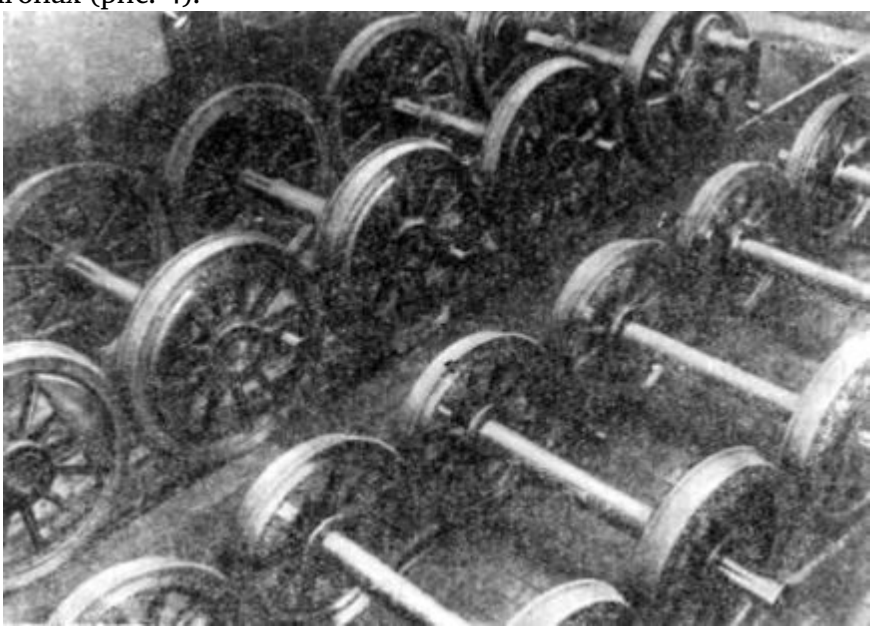

Рис. 4. *Современные скаты железнодорожных вагонов и паровозов.*

Единственное его неудобство обнаруживается только при крутых поворотах, когда одно из колес должно пройти более длинный путь по сравнению со вторым. Второе же колесо должно при этом не катиться, а скользить. На железной дороге, где повороты плавные, это почти незаметно, но уже у трамвая скольжение на повороте нередко дает о себе знать скрипом и быстрым износом рельс. У телег с деревянными осями и колесами в таком случае возможны поломки. Поэтому крупным шагом вперед в развитии техники передвижения было изобретение колес со ступицей, насаживающихся на неподвижную ось. В этом случае оба колеса вращаются независимо одно от другого, и при поворотах не возникает скольжения. Однако изготовление такого колеса много труднее и требует применения более совершенных инструментов. Кроме того, сплошные колеса подобного типа весьма тяжелы. С течением времени их сменили колеса со спицами, сначала весьма грубые, затем изящные (рис. 5).

Рис. 5. *Изготовление колес со спицами в XVIII в. (со старинного рисунка).*

В дальнейшем появились металлические оси и металлические колеса.

Промышленная революция в Западной Европе в конце XVIII в., появление крупного машинного производства, вызвала коренные преобразования в средствах сношения и транспорта. Необходимость улучшения способов доставки руды и топлива способствовала изобретению рельсовых путей. Катящиеся по рельсам колеса были снабжены выступами на ободе (ребордами). Перевозка промышленных грузов стала производиться конной тягой на рельсовых путях.

В середине XVIII в. впервые было сделано изобретение, правда долго не применявшееся, позволившее коренным образом улучшить использование вращательного движения в технике. Дело в том, что и при колесе, неподвижно насаженном на ось, и при колесе со ступицей, вращающемся на неподвижной оси, все же остается трение скольжения, которого нет при самых простых катках. Идея нового изобретения состояла в том, чтобы уничтожить трение скольжения, поместив между осью и ступицей колеса ряд катков либо цилиндрической формы, либо в виде шариков. Это позволило уменьшить трение во втулке оси в шесть-семь раз по сравнению с хорошо смазанным обычным колесом. Такое улучшение особенно пригодилось, когда стали строить повозки, передвигаемые с помощью приложения человеческой силы, — велосипеды и самодвижущиеся повозки — автомобили. В наше время шариковые подшипники устанавливаются почти везде, где есть вращающиеся части машин.

Новейшее улучшение колесных повозок — это применение резиновых шин. Уже давно обод колеса для увеличения прочности стали стягивать железным кольцом — шиной, его надевали на готовое колесо в нагретом виде. При остывании железная шина стягивалась и прочно охватывала деревянный обод колеса. При быстрой езде по каменной дороге такое колесо создавало шум и вызывало сильную тряску. Когда научились обрабатывать резину, поверх железного обода стали накладывать еще резиновый. Это сразу избавило повозку от стука и в значительной мере уменьшило тряску.

Еще более совершенная резиновая шина, изобретенная в конце XIX в., состоит из двух частей: прорезиненной плотной покрышки и тонкой воздухонепроницаемой камеры, которую накачивают воздухом до давления в несколько атмосфер. Такая упругая шина еще лучше устраняет тряску, кроме того, она

облегчает ход повозки. Дело в том, что на всякой неровности дороги неупругое колесо, а с ним и повозка должны на большом ходу подскакивать при ударах о препятствия. Как ни малы эти подъемы, надо затрачивать на них работу. Если же шины упруги, то они проминаются на отдельных бугорках и ось при этом не поднимается, а значит, и не производится добавочная работа на поднятие груза (веса повозки с кладью).

В начале XIX в. роль колеса в повозках коренным образом изменилась. До этого времени колесо служило, главным образом, для уменьшения сопротивления трения, т. е. его значение было подчиненным. Когда же стали изобретать самодвижущиеся повозки, то на долю колеса выпала задача передавать движение от двигателя ко всей повозке в целом, иными словами, колесо стало играть активную роль. В этом случае стали применять колеса, наглухо насаженные на ось, которая вращается от двигателя либо при помощи кривошипного механизма, как в паровозе, либо же путем передачи ей вращения при помощи вала и конических шестерен, как в автомобиле.

Как известно, согласно непреложному физическому закону, действие равно противодействию. Поэтому, когда колесо, вращаясь, тянет поезд вперед, оно с такой же силой толкает рельсы назад. Мы, конечно, не замечаем результата этого действия, так как масса Земли во много миллионов раз больше массы самого тяжелого поезда. Поэтому приобретаемая земным шаром скорость оказывается ничтожной. Для того же, чтобы колеса поезда могли отталкивать рельсы назад, необходимо, чтобы трение скольжения между колесами и рельсами было достаточно большим. Интересно отметить, что первые изобретатели паровозов опасались, что вращающиеся колеса будут проскальзывать по земле, тем более по рельсам, и придется делать и колеса и рельсы зубчатыми для того, чтобы паровоз мог тянуть самого себя, не говоря уже о прицепленных к нему вагонах.

Некоторые изобретатели того времени даже снабжали паровозы особыми металлическими «ногами», с помощью которых эти паровозы должны были как бы отталкивать рельсы. Однако мы хорошо знаем из опыта, что эти страхи оказались напрасными, а металлические «ноги» — ненужными. Больше того, они могли отбросить их еще и до постройки своих машин: им, несомненно, было известно действие тормоза. Если не дать колесу возможности вращаться, то повозку можно передвигать только с большим трудом, так как вместо того, чтобы перекатываться, колесо будет скользить по дороге; трение же при скольжении много больше трения при качении.

Прицепленные груженые вагоны увеличивают трение качения и тормозят движение паровоза. Чем больше вагонов к нему прицеплено, тем больше тормозящее усилие. Это усилие можно, очевидно, увеличивать только до известного предела. Когда при большом числе прицепленных вагонов трение качения вагонов станет равным или больше силы трения скольжения колес паровоза, «ведущее» колесо начнет проскальзывать — «буксовать», паровоз не сможет тянуть поезд: его колеса будут вращаться на месте. В таком случае на рельсы под колеса сыплют песок. Он не увеличивает силы трения качения, но во много раз увеличивает трение скольжения колес паровоза по рельсам.

Если бы паровоз или автомобиль поехал по палубе корабля, мы заметили бы, что корабль отходит назад. Этим законом равенства действия и противодействия можно воспользоваться для устройства весьма остроумного приспособления. Представим себе, что паровоз перевернулся вверх колесами, но его машина работает и колеса вращаются в воздухе. Если положить теперь на колеса рельсы, то не паровоз будет двигаться по рельсам, а рельсы по колесам. В самом деле, опрокинутый паровоз можно сдвинуть с места, только приложив огромную силу, так как он прочно удерживается на месте силой трения о землю. Силы трения рельсов о колеса для этого недостаточно. Но равная ей, только направленная в обратную сторону, сила сможет толкать сравнительно легкий рельс. Как ни фантастичен подобный пример, все же каждый рельс при своем появлении на свет передвигается этим способом на рельсопрокатном заводе. Есть, правда, одно несущественное отличие: «колеса», по которым двигается рельс, имеют широкие ободья. Вернее, это — хорошо знакомые нам катки. Однако это не свободные катки, а закрепленные на осях валы, вращающиеся от электромоторов. Целый ряд таких валов поставлен на прокатном стане, превращающем стальную болванку в рельс. Выйдя из-под стана, раскаленная стальная лента рельса попадает на эти вращающиеся валы, автоматически передвигающие ее к пиле, которая разрезает эту ленту на части. Отрезанные куски передвигаются дальше к печам. На таких же валах подается к прокатному стану и та болванка, из которой прокатывается рельс. Подобное же устройство может быть применено и для передвижения сыпучих тел. В этом случае валы покрываются кольцевой лентой прорезиненной материи. Она идет поверх валов, загибается на последнем вниз, идет внизу до первого вала, где вновь загибается вверх. Если валы не вращаются, то и лента находится в покое; как только валы начинают вращаться, лента начинает двигаться в сторону вращения, причем с той же скоростью, что и точки,

лежащие на поверхности валов (в том случае, если не будет проскальзывания ленты по валам). Тогда на ленту можно набрасывать песок, зерно, класть кирпичи и т. п. Можно установить оси всех валов в горизонтальной плоскости. В этом случае перемещение ленты тоже будет происходить горизонтально, мы будем иметь «транспортер» (конвейер). Если же полотно будет двигаться наклонно, то и лежащий на нем груз будет подниматься. Устройство будет действовать как подъемник. Можно заставить двигаться по валам ленту не из ткани, а металлическую, составленную из звеньев. На ней устраивают ступени. В этом случае подъемник превращается в самодвижущуюся лестницу — «эскалатор». Что произойдет, если мы затормозим нижнюю сторону бесконечной ленты «транспортера», например при-ведя ее в соприкосновение с землей? Очевидно, валы смогут при этом вращаться, не проскальзывая, только при условии, если их оси станут катиться вперед. С осями, конечно, будут передвигаться и их подшипники и все сооружение, с которым эти подшипники связаны, т. е. транспортер превратится в так называемый «гусеничный ход». Для того чтобы полностью избежать проскальзывания бесконечной ленты, несколько валов (колес) изготовляются зубчатыми, а на внутренней стороне ленты делаются шипы, за которые и задевают зубцы ведущих колес (рис. 6).

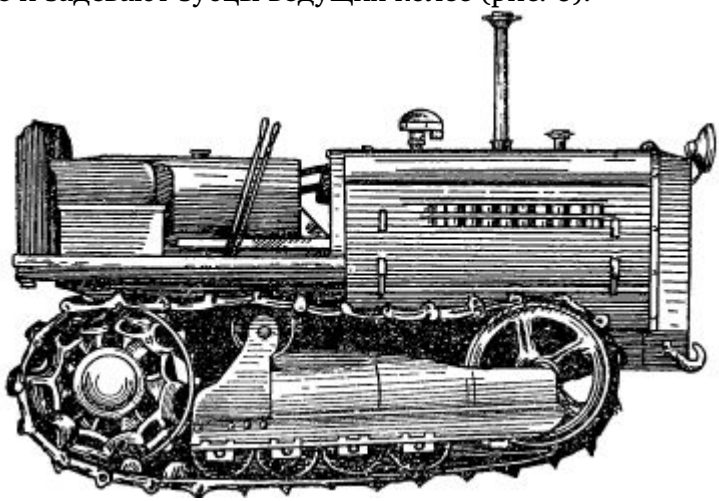

Рис. 6. *Гусеничный ход трактора.*

Гусеничный ход очень удобен в тех случаях, когда приходится перемещаться по плохим дорогам или вовсе без дорог. Дело в том, что колесо соприкасается с дорогой только на малой площади и потому, если нагрузка на него значительна, прорезает почву. Гусеница же ложится на почву почти половиной

своей длины, кроме того ее ширина больше, чем ширина обода колеса. Поэтому нагрузка, приходящаяся на единицу поверхности соприкосновения, т. е. давление на почву, много меньше: гусеничный трактор может идти по вспаханному полю и даже по моховому болоту.

II. Колесо и развитие машин

Мы рассмотрели колесо как средство передвижения. Но у него имеется еще много других различных применений. Наиболее древними машинами, в которых было использовано колесо, несомненно являются гончарный станок, мельница и прялка.

Найденные при раскопках древних городов черепки, а иногда и хорошо сохранившиеся глиняные сосуды в возрасте 3000–3500 лет имеют правильную форму круга. Это с несомненностью свидетельствует о том, что они изготовлены на гончарном станке.

Гончарный круг в простейшем виде — не что иное как колесо, насаженное на вертикальную ось. Таким мы его видим на древних изображениях (рис. 7).

Рис. 7. *Древнегреческое изображение гончара с гончарным кругом.*

Позже было произведено некоторое его усложнение: на вертикальной оси установили два колеса; на верхнее кладется кусок глины, из которой вырабатывается сосуд, тогда как нижнее, обычно большое колесо, служит для вращения всего стана ногами гончара, оно же сообщает стану и равномерность хода (рис. 8).

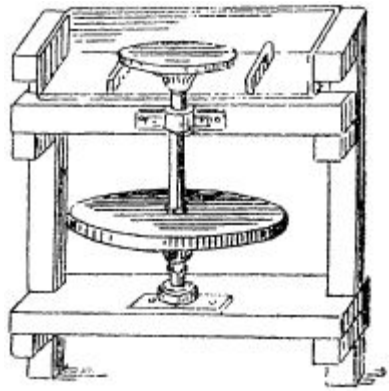

Рис. 8. *Гончарный круг.*

Мы видим, что за три с лишним тысячи лет гончарный круг по существу почти не изменился. Первый рисунок — грубое изображение неумелого художника того времени, а второй — современный чертеж. Однако сам станок и способ работы на нем в основном остались прежними.

Другое применение колеса можно видеть на примере жернова. Первобытные земледельцы либо вовсе не дробили зерна, либо разбивали (толкли) его камнями. Позднее они растирали его одним камнем на другом большом плоском камне («терка»). Это была крайне утомительная работа. Сохранилось изображение женщины, растирающей «теркой» зерно (рис. 9).

Рис. 9. *Древнеегипетское изображение девушки, растирающей зерно ручной «теркой».*

Многие племена Африки и до сих пор пользуются этим первобытным способом. Большим усовершенствованием явилась замена движений «терки» вперед и назад вращательным движением. Оба камня стали делать одинаковыми — в виде горизонтально расположенных колес. Нижнее колесо оставалось неподвижным, а верхнее вращалось. Зерно понемногу подсыпалось в отверстие в середине верхнего камня — жернова, попадало в пространство между верхним и нижним камнями и растиралось.

Третьим примером применения колеса в простейших машинах является прялка. Простейшее веретено, иногда с грузилом внизу, вращали пальцами и пряли на нем сначала шерсть, а потом и растительные волокна. Позднее веретено стали вращать с помощью колеса, перекинув через веретено и обод колеса бесконечный шнурок (рис. 10).

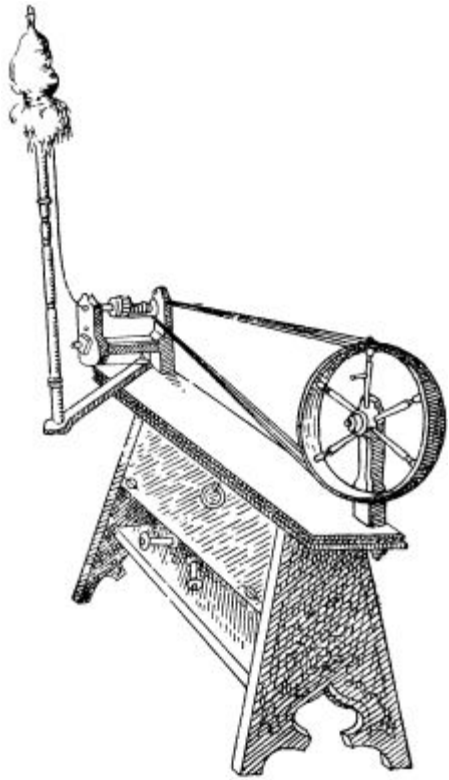

Рис. 10. *Прялка по рисунку XV века.*

В таком устройстве было осуществлено изменение числа оборотов при вращении: при сравнительно медленном вращении приводного колеса веретено вращалось быстро. Второе важное изобретение, усовершенствовавшее самопрялку, — это топчан (механизм, позволяющий превращать качательное движение

доски во вращательное движение колеса) (рис. 11).

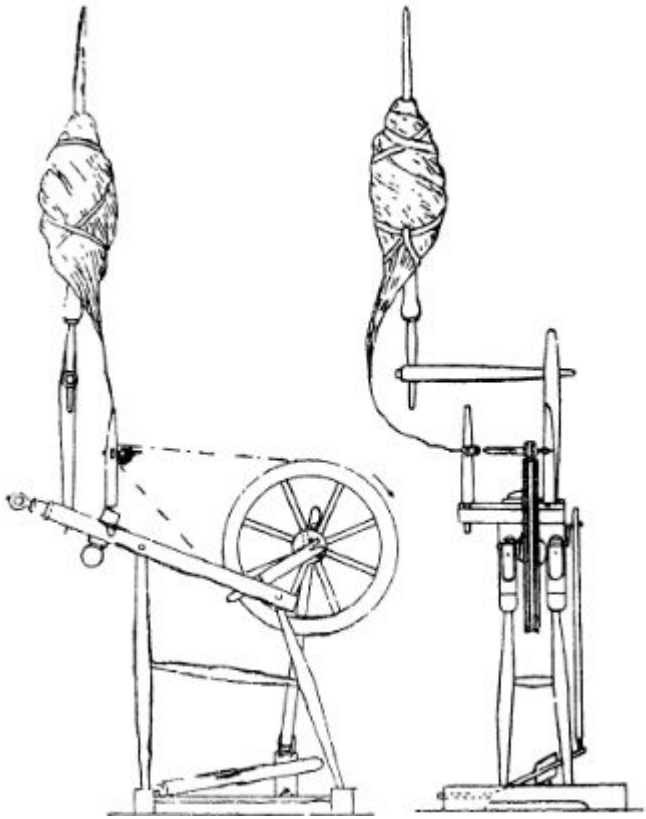

Рис. 11. *Ножная самопрялка.*

Приведем еще рисунок стенной росписи, обнаруженный в одном из разрушенных зданий древнеримского города Помпеи[1] (рис. 12).

Рис. 12. *Древнеримское изображение «бегунов».*

На нем изображен пресс для выжимания винограда и «бегуны» для выдавливания оливкового масла. «Бегуны» (пара катающихся жерновов с общей горизонтальной осью) и сейчас имеют почти такой же вид. Они применяются, например, в современных машинах для размола массы в бумажном производстве.

Огромную роль издавна играет колесо в машинах-двигателях.

Древнейшие машины-двигатели, например, использовали напор воды и развились, повидимому, из поливных машин — «чадуфов», при помощи которых воду из реки поднимали для орошения берегов. Ряд черпаков насаживался по ободу большого колеса с горизонтальной осью, нижние черпаки погружались в воду реки, при повороте колеса они поднимались к верхней точке колеса и опоражнивались в желоб.

На рис. 13 изображено водяное колесо, применявшееся в Осетии.

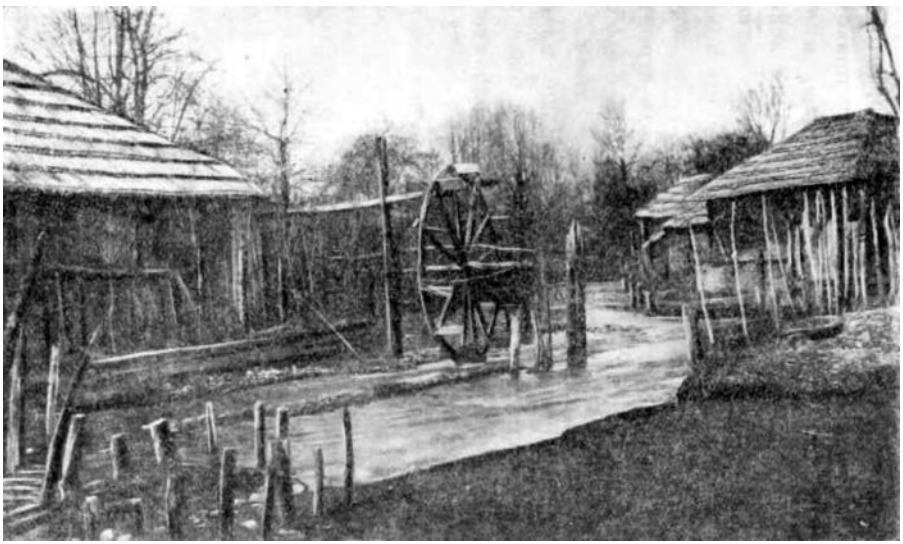

Рис. 13. *Водяное колесо в Осетии (начало XX в.).*

Первоначально оно вращалось вручную. Но там, где воды мало, а бежит она по крутому руслу быстро, водяные колеса стали приспосабливать для работы с помощью напора воды. Очевидно, что такие колеса можно приспособить и для других надобностей, например для размола хлеба. Их ось может быть и горизонтальной и вертикальной.

В равнинных местностях реки и речки полноводны, но скорость их течения мала для того, чтобы вращать колесо силою удара струи, поэтому приходилось запруживать реку, поднимая уровень воды, и направлять струю по желобу в ковши колеса. Под действием тяжести воды колесо поворачивалось и ковш опоражнивался внизу. Такие водяные мельницы появились всего лишь две тысячи лет тому назад.

Шло время, и наряду с водяными стали строить ветряные мельницы (рис. 14).

Рис. 14. *Ветряная мельница.*

Однако произошло это совсем «недавно», каких-нибудь девятьсот лет тому назад. У тибетских жрецов имелись уже и раньше маленькие ветряные мельницы, однако назначение их было весьма своеобразное: они вращали маленькие барабанчики, на которых были написаны молитвы.

Голландцы с давних времен использовали ветряные двигатели для полезной работы. Испытывая недостаток в земле, они огораживали валами неглубокие участки моря и при помощи насосов, приводимых в движение ветром, откачивали соленую воду моря и излишнюю влагу, которая не могла сама стекать в море, так как уровень почвы был ниже уровня моря. В 1836 г. для этой цели в Голландии служили уже 12000 ветряных двигателей.

Ветряные мельницы имеют одно неоспоримое преимущество перед водяными: их можно строить везде, тогда как водяные устанавливают только там, где есть текучая вода. Зато у ветряных мельниц имеются крупные недостатки: их работа зависит от ветра, от его силы. Временами подолгу бывает безветрие, тогда поневоле такие мельницы бездействуют. Однако иногда они оказывают совершенно неоценимую услугу. На высоких горах,

куда затруднена доставка горючего для моторов, в настоящее время применяются ветряки для вращения динамомашин, снабжающих электрическим током высокогорные обсерватории (рис. 15).

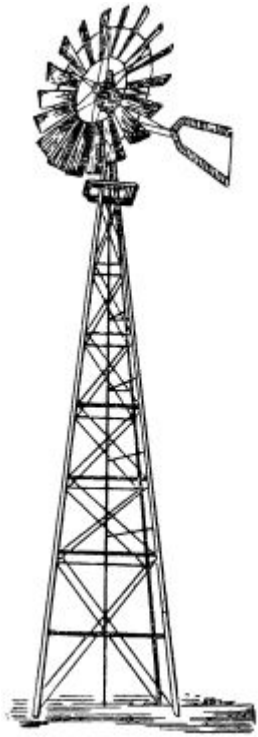

Рис. 15. *Ветродвигатель.*

На дрейфующей полярной станции «Северный полюс» ветряки заряжали аккумуляторы, что обеспечивало бесперебойную связь по радио с «Большой землей».

В полупустынных местностях ветряные двигатели накачивают воду из глубоких колодцев и позволяют осваивать эти негостеприимные участки земли.

Из колеса ветродвигателя в XIX в. родился пропеллер. Подобно тому как колесо, приводимое во вращение мотором, заставляет двигаться повозку, так и ветряк, преобразованный в пропеллер, заставляет перемещаться самолет.

Многие электростанции приводятся в движение не ветром и не водой, а паром. На крупных электростанциях этого рода теперь уже нельзя встретить старых поршневых паровых машин: там работают паровые турбины. По существу, их подвижные части — роторы — тоже воздушные колеса, но только приспособленные к работе на большом числе оборотов (рис. 16).

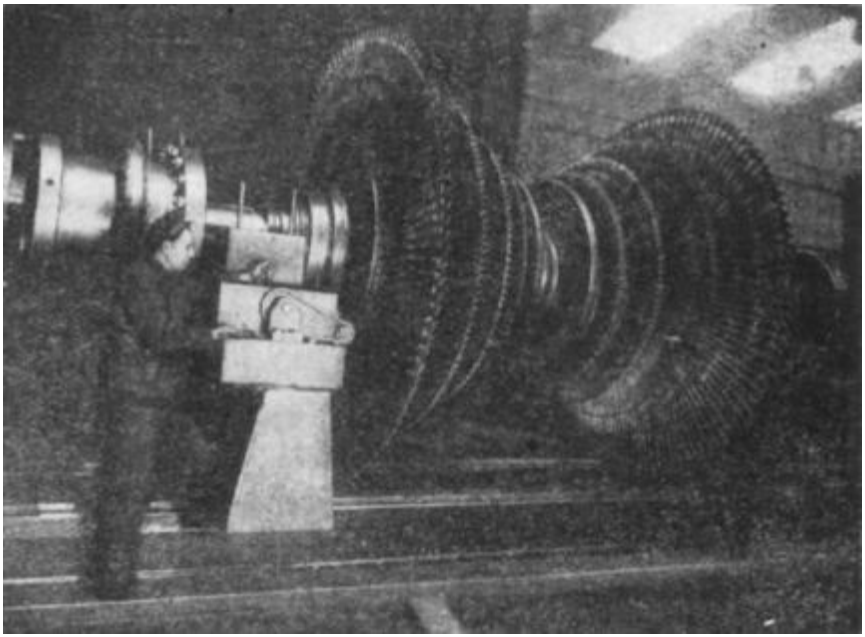

Рис. 16. *Ротор советской паровой турбины мощностью в 100 000 киловатт.*

Это вызвано тем, что скорость струи пара, ударяющего в лопасти этих колес, в десятки раз больше скорости ветра при урагане. Благодаря увеличению числа оборотов оказалось возможным чрезвычайно сильно повысить мощность машины, не слишком увеличивая ее размеры. Конечно, при постройке турбины, использующей вместо «капризного» ветра надежную силу пара, пришлось отказаться от такого непрочного материала, как дерево, и заменить его высококачественной сталью. Состязаться с паровыми турбинами по мощности могут только новейшие водяные турбины, заменившие собою водяные колеса (рис. 17).

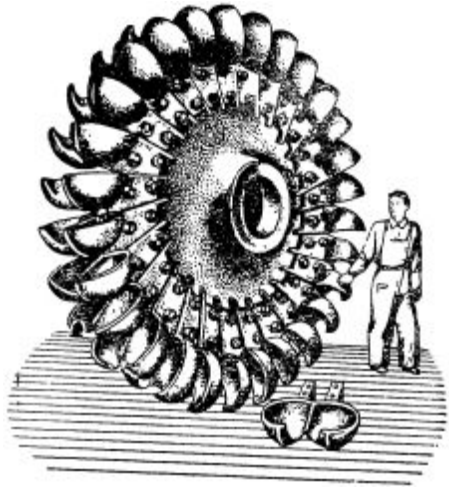

Рис. 17. *Колесо водяной турбины.*

Необходимо, однако, подчеркнуть, что водяные колеса достигли уже в XVIII в. большого совершенства. Наиболее выдающимся сооружением, в котором использовано колесо, является гидросиловая установка, разработанная и построенная К. Д. Фроловым (1728–1800) на Алтае, на Змеиногорском месторождении драгоценных металлов. Вода, пущенная со специально построенной плотины, текла по подземным каналам и приводила в движение целую систему огромных деревянных водяных колес, установленных в подземных камерах. Наибольшее из этих водяных колес имело в диаметре 17 м.

Фроловым была также сооружена гидравлическая рудоподъемная машина, водяное колесо которой имело в диаметре 14 м (рис. 18).

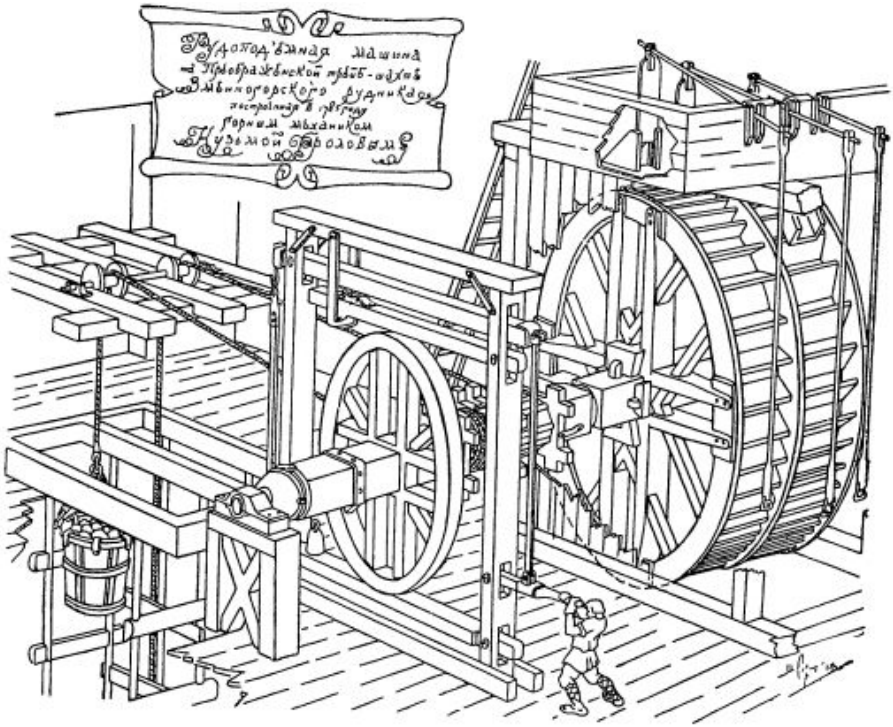

Рис. 18. *Гидравлическая рудоподъемная машина К. Д. Фролова.*

Когда в XVIII в. с бурным развитием капитализма в Европе стали развиваться машины-орудия, на смену простейшей прялке с веретеном, в которой вытягивание нити производилось пальцами пряхи, появилась механическая прялка, имеющая специальные валики, выравнивавшие волокно. Валики эти вращались с разной скоростью, так что лента волокон, проходящая между ними, не только сжималась, но и растягивалась.

Однако для приведения в действие прядильных машин нужны были двигатели. Имевшиеся паровые машины были еще очень несовершенны и требовали много топлива. Наиболее совершенной паровой машиной того времени явилась машина для заводских нужд, которую изобрел в России И. И. Ползунов (1728–1766).

Однако она осталась неизвестной для Западной Европы, и поэтому, естественно, там обращались к услугам водяного колеса.

Широкое распространение водяного колеса привело к применению его для целей транспорта. И здесь произошло такое же изменение его роли, какое мы видели на примере сухопутного колеса при переходе от повозок с конной тягой к самодвижущимся повозкам. В повозках с конной тягой колеса приходят во вращение в результате движения повозки. В

самодвижущихся повозках произошло «обращение» действия колеса: повозка стала приходить в движение под действием вращения колес. Такое же «обращение» действия водяного колеса имело место и на самодвижущихся судах. Было установлено, что если вращать водяное колесо каким-либо двигателем, например при помощи паровой машины, то оно будет приводить в движение воду; если же оно установлено на подвижной опоре, на судне, то оно само начнет передвигаться по воде, причем, конечно, вместе с колесом будет передвигаться и судно. В XVIII в. замечательным русским изобретателем механиком И. П. Кулибиным было предложено и осуществлено «водоходное судно», снабженное колесами с лопастями (рис. 19).

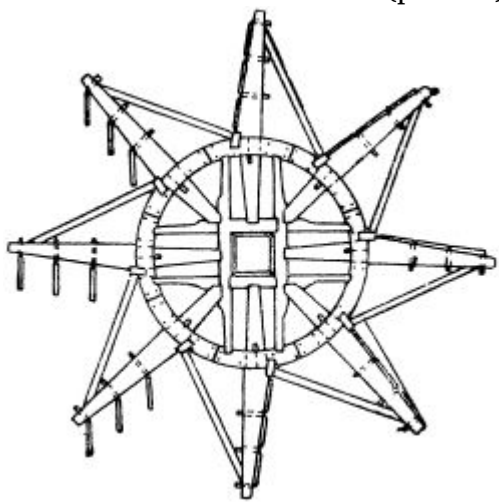

Рис. 19. *Колесо «водоходного судна» И. П. Кулибина.*

Для этой цели и стали устанавливать по одному вращающемуся колесу на каждом борту или одно колесо— за кормой (заднебойное колесо). Последнее устройство встречается реже. На рис. 20 изображен первый русский пароход, построенный в 1815 г.

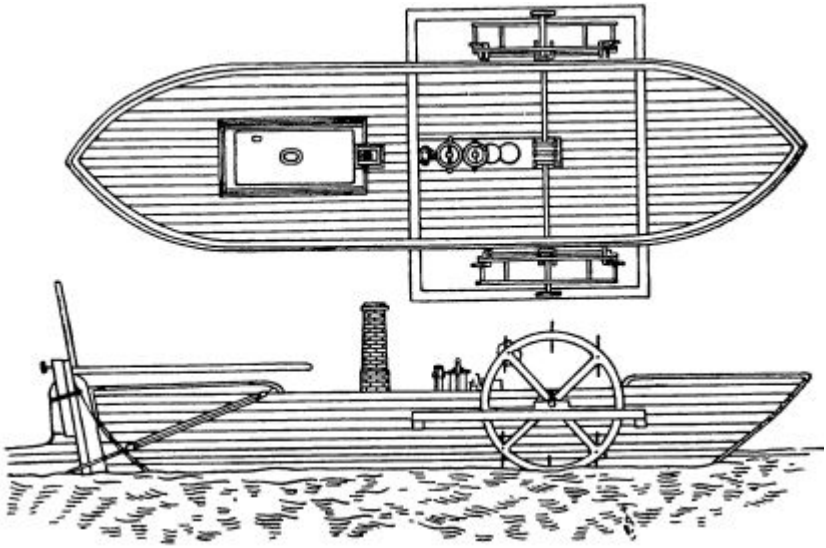

Рис. 20. *Первый русский пароход.*

Мощное развитие паровых машин в XIX в. несколько задержало усовершенствование водяных колес.

Новым толчком к их развитию было изобретение динамомашины, электромотора и трансформатора, сделанное менее ста лет тому назад, главным образом, русскими электротехниками Лачиновым, Пироцким, Ленцем, Якоби, Сочиным и Доливо-Добровольским. Мы не будем входить здесь в детали устройства этих машин, укажем только то, что динамомашина, будучи приведена во вращение, дает электрический ток, электромотор же начинает вращаться, если через него пропустить электрический ток.

Назначение же трансформаторов — так преобразовать вырабатываемый динамомашинами ток, чтобы можно было с малыми потерями передавать электроэнергию на дальние расстояния по проводам.

Изобретения эти коренным образом изменили условия использования водяных двигателей. Теперь стало возможным устанавливать их даже в глухой бездорожной местности, вдали от населенных пунктов, а фабрики строить в городе, куда легко подвозить сырье и где легко найти рабочую силу. Более того, стало возможным строить очень мощные гидроэлектростанции с тем, чтобы выработанную электроэнергию подавать на различные предприятия, быть может даже расположенные в разных городах, далеко от питающей их станции.

Гигантский план электрификации СССР, разработанный по инициативе В. И. Ленина и развитый в годы сталинских пятилеток, способствовал сооружению большого числа

гидроэлектростанций на всей территории нашей страны. Все они используют водяную турбину как двигатель.

III. Колесо как средство передачи и преобразования вращательного движения

Потребность в передаче вращательного движения возникла уже в древнейшие времена. С развитием машин возрастали роль и задачи передаточного механизма.

Если в повозках колесо должно было облегчить движение, а в двигателях являлось главной частью всего устройства, то уже в рабочих машинах колесо, вернее, набор колес предназначен для передачи вращательного движения и изменения числа оборотов осей.

Первой машиной, потребовавшей решения сложной задачи изменения числа оборотов в широких пределах, были механические часы, изобретенные в XI в.

Вот как рассказывает летописец о первых башенных часах, установленных в Москве в 1404 г.: «Князь великий замысли часник и постави е на своем дворе за церковью за святым благовещением. Сей же часник наречется часомерье: на всякий же час ударяет молотом в колокол, размеряя и расчитая часы нощные и дневные, не бо человек ударяше, но человековидно, самозвонно и самодвижно, страннолепно некако створено есть человеческою хитростью преизмечтано и преухищрено». Последние строки этого рассказа летописца показывают, что его особенно поразила автоматичность действия часов.

«Часы, — писал К. Маркс в письме к Ф. Энгельсу,[2] — это первый автомат, употребленный для практических целей. На их основе развилась вся теория производства равномерных движений. По своему характеру они сами базируются на сочетании полухудожественного ремесла с теорией в прямом смысле слова».

Ярким подтверждением этих слов являются, например, знаменитые «часы яичной фигуры» величиной с утиное яйцо, построенные И. П. Кулибиным. В эти часы вмонтирован миниатюрный автоматический театр. Каждый час раздвигались створчатые двери, и на сцене театра происходило небольшое представление. Часы Кулибина представляют собою непревзойденное чудо техники. Однако необходимо помнить, что даже самые простые карманные часы являются уже весьма сложной машиной. В карманных часах ведущая ось, связанная с заводной пружиной, делает 3 оборота в сутки, а последняя ось,

связанная с секундной стрелкой, — 1440 оборотов. Это изменение числа оборотов осуществляется в часах посредством целого набора зубчатых колес.

Но передачу движения и регулирование числа оборотов с помощью колес мы можем видеть в любой машине. Увеличение числа оборотов ведомой оси наблюдается в ручной дрели или в наматывающем механизме швейной машины. Наоборот, в лебедке, в катке для выравнивания асфальта, в землечерпалке ведущая (соединенная с двигателем) ось делает больше оборотов, чем ведомая.

Иногда с регулированием числа оборотов совмещается и другое назначение колес: изменение направления оси вращения, когда, например, требуется передать вращение от горизонтальной ведущей оси к вертикальной ведомой.

Примеры этому можно видеть в старых конструкциях швейных машин, в ручном сверлильном станке и в дрели, в ветряной мельнице. В ветряной мельнице ветер приводит во вращение горизонтальную ось, которая, в свою очередь, вращает вертикальные валы, на которых укреплены жернова. В конном приводе происходит обратное явление: вертикальное вращение ведущей оси преобразовывается во вращение горизонтального вала, приводящего в движение молотилку или какую-либо другую машину. В автомобиле вращение вала, идущего вдоль корпуса, преобразуется во вращение полуосей, несущих колеса и расположенных поперек.

Рассмотрим теперь, как же происходит передача вращения от одной оси к другой.

В простейшем случае два колеса с параллельными осями вращения плотно соприкасаются своими ободами. Если теперь одно из колес начнет вращаться (ведущее колесо), то благодаря трению между ободами начнет вращаться и второе.

При отсутствии скольжения колеса перекатываются одно по другому, т. е. пути, проходимые точками, лежащими на их ободах, равны. Это справедливо при всех диаметрах колес. Стало быть, большее колесо будет делать, по сравнению со связанным с ним меньшим, во столько же раз меньше оборотов, во сколько раз его размеры превышают размеры последнего.

В простейшем виде такая передача трением, или, как ее иногда называют, фрикционная (от латинского — «фрикцио» — трение) передача, встречается сравнительно редко, главным образом там, где передаваемые усилия не очень велики и где, подчеркнем, не требуется вполне точного соотношения между числами оборотов зацепленных осей.

Так сцеплен с ободом велосипедного колеса вал маленькой

динамомашины, питающей фонарь. Так же соединяются ведущее колесо швейной машины и колесо приспособления, с помощью которого наматывается нитка на шпульку.

Иногда передачей трением пользуются в небольших сверлильных станках. На рис. 21 изображен пресс с фрикционной передачей.

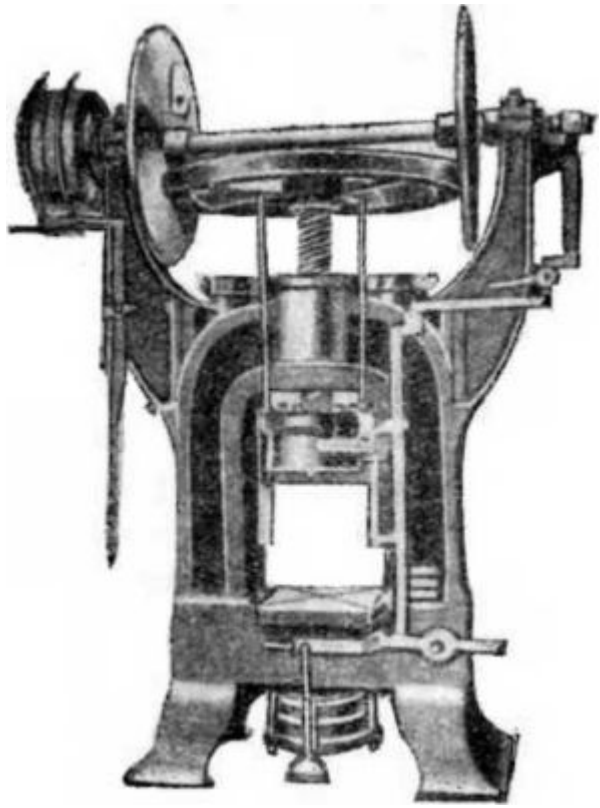

Рис. 21. *Пресс с фрикционной передачей.*

Ведомая и ведущая оси расположены под прямым углом друг к другу и заканчиваются дисками. Ведущая ось имеет два диска, расположенные по обеим сторонам ведомого диска, чтобы иметь возможность изменять направление вращения горизонтального диска, не меняя направления вращения ведущей оси. Если левый ведущий диск прижат к ведомому горизонтальному диску, то последний приходит во вращение в одну сторону; если же правый ведущий диск прижат к нему, то горизонтальный диск вращается в противоположную сторону.

Соединение двух колес ремнем во многих случаях удобнее непосредственного их соприкосновения. Во-первых, при этом можно благодаря упругости ремня не выдерживать с большой точностью расстояния между осями. Во-вторых, на каждую из

осей можно насадить ряд колес различного диаметра и накидывать ремень на различные пары. Если диаметр колеса на одной оси большой, а на второй малый, то вторая ось будет делать больше оборотов, чем первая, и наоборот. Таким образом легко менять соотношение чисел оборотов осей.

В этом случае колеса, насаженные на оси, называются «ступенчатыми шкивами», а сцепленная пара осей — трансмиссией (от латинского слова «трансмиттере» — передавать, пересылать) (рис. 22).

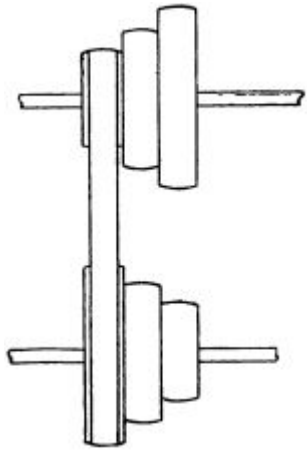

Рис. 22. *Схема трансмиссии.*

Диаметры шкивов подбираются таким образом, чтобы один и тот же ремень можно было с одинаковым натяжением накидывать на любую пару шкивов.

Обратите внимание на очертание каждого из шкивов: посредине они немного толще. Для чего это сделано? Такое утолщение необходимо для того, чтобы ремень не соскакивал на ходу. Если такого утолщения не имеется, то трансмиссия будет работать только при совершенно точно сшитом плоском ремне и строго параллельных осях; если же ремень не точно пригнан (а так всегда бывает на практике), то одним краем он будет немного плотнее прижат к шкиву, чем другим, и станет косо. Прижатая сторона у него будет сильнее натянута, кромка ремня уже не сможет двигаться параллельно окружности шкива, и ремень будет сбегать к середине шкива и вскоре соскочит.

На первый взгляд может показаться, что утолщение на шкиве никак не задержит такого перекоса и сбегания ремня. Однако тщательное рассмотрение вопроса показывает, что утолщение это способствует нормальной работе трансмиссии. Если ремень начнет соскальзывать с середины шкива, то одна сторона его (находящаяся ближе к середине) будет натягиваться сильнее, чем

другая; благодаря этому обстоятельству ремень, слегка соскользнувший с середины шкива, перекашивается и начинает снова наползать на нее. Иными словами, наличие утолщения на шкиве способствует возвращению ремня в исходное положение.

Рассмотрим теперь другой вид сцепления колес, осуществляемый с помощью зубцов. Зубчатые колеса возникли, по-видимому, более двух тысячелетий тому назад. Но широкое применение получили они лишь в течение последних шести-семи веков.

Характерная особенность зубчатого зацепления заключается в том, что числа зубцов большого и малого колес должны выражаться целыми числами.

Для того, чтобы при равномерном вращении одного колеса второе вращалось тоже равномерно, зубцам необходимо придать особое очертание, при котором движение колес совершилось бы так, как будто они перекатываются одно по другому без скольжения, тогда зубцы одного колеса будут входить во впадины другого (рис. 23).

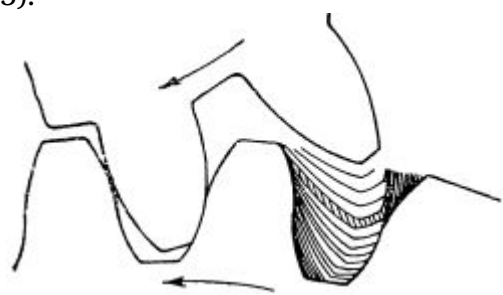

Рис. 23. *Схема зубчатого зацепления.*

При этом они должны располагаться свободно, но, по возможности, с малыми зазорами, иначе либо колеса нельзя будет повернуть, либо же они будут иметь «мертвый ход» и при перемене направления вращения или при изменении нагрузки станут отходить одно от другого, в результате чего колеса будут ударяться и, вследствие этого, быстро изнашиваться.

Мы можем примириться с тем, что зубцы будут скользить один по другому (при хорошо обработанных поверхностях и хорошей смазке трение будет невелико), но мы никоим образом не можем допустить, чтобы зубец одного колеса отходил от другого или же врезался в него.

Рассмотрим несколько наиболее употребительных зубчатых зацеплений. Для преобразования вращения в одной плоскости во вращение в другой плоскости при малых скоростях уже в древности была изобретена червячная передача (сочетание винта и зубчатого колеса), широко применяемая и в наше время

(рис. 24).

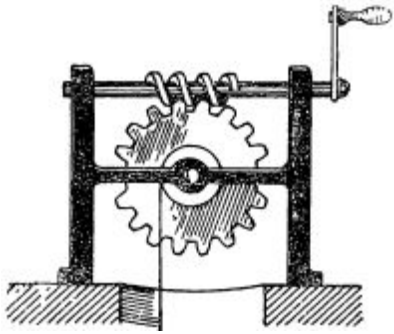

Рис. 24. *Червячная передача.*

В стенных часах и будильниках применяются зацепления, в которых большее колесо является зубчатым в обычном смысле этого слова, т. е. по его окружности нарезаны зубцы, тогда как соединенное с ним малое колесо состоит из ряда стержней, закрепленных концами в обоймах. Такое зацепление носит название цевочного зацепления (рис. 25).

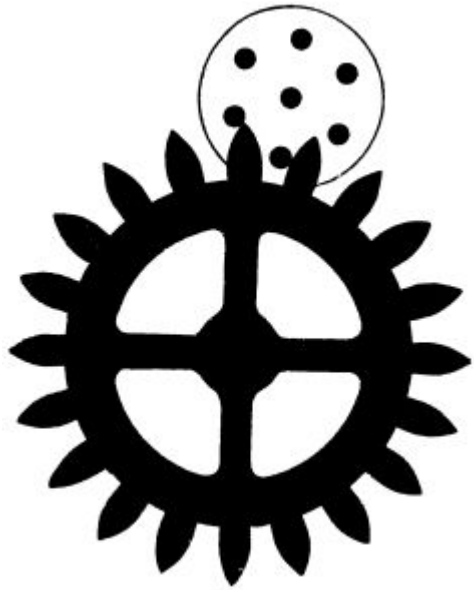

Рис. 25. *Схема цевочного зацепления.*

На рис. 26 изображена водоподъемная машина с цевочным зацеплением.

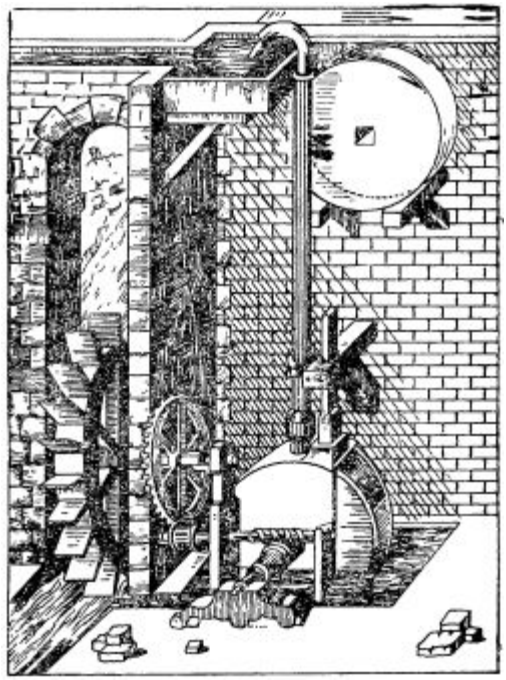

Рис. 26. *Водоподъемная машина XVI в. с червячной и цевочной передачами.*

В случае цевочного зацепления очень легко определить вид зубца колеса. Как уже было сказано, мы должны добиться, чтобы во все время работы колес они вращались равномерно и все время находились в сцеплении. В данном случае это означает, что стержень малого колеса, раз соприкоснувшись с зубцом, должен все время к нему прилегать до тех пор, пока не сойдете него у вершины зубца.

Обычно, например в часах, неподвижными являются центры осей обоих колес, сами же колеса вращаются. В этом случае довольно трудно следить за относительным расположением зубцов и стержней, однако можно сильно упростить решение этой задачи. Вообразим, что мы вращаем весь механизм вокруг оси большого колеса и притом с той же скоростью, с какой оно вращается в неподвижном механизме, но только в обратную сторону.

В этом случае большое колесо будет неподвижно, а малое станет не только вращаться вокруг своей оси, но и обращаться вокруг большого колеса.

Участвуя в этих двух движениях, малое колесо будет перекатываться без скольжения по основной окружности большого колеса. Проследим теперь, по каким кривым будут двигаться отдельные точки этого колеса. Его ось, как легко

сообразить, будет описывать окружность, центр которой совпадет с центром неподвижного колеса, радиус же окружности будет равен расстоянию между осями.

Рассмотрим теперь, какую линию вычертит точка, лежащая в центре любого стержня, скользящего по зубцам. Начнем прослеживать ее с того момента, когда стержень ближе всего подходит к оси неподвижного колеса. Очевидно, что на таком же расстоянии эта точка будет и после того, как неподвижное колесо, перекатываясь, сделало полный оборот, два оборота, три оборота и т. д. В промежуточные моменты эта точка будет отходить от окружности неподвижного колеса.

Так, при полуобороте подвижного колеса она будет расположена дальше всего от центра неподвижного колеса (на два радиуса малого колеса), в промежуточные моменты движения положение ее будет какое-то среднее. Кривая, проходящая через все последовательные положения этой точки, изображена на рис. 27.

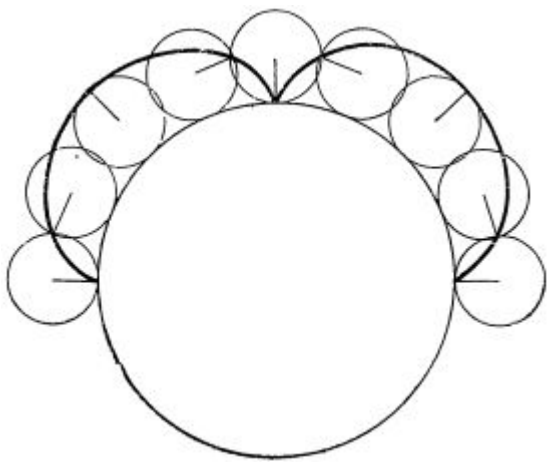

Рис. 27. *Линия, которую вычертит центр стержня, скользящего по зубцам колеса.*

При правильном зацеплении зубчатых колес между собою, прежде чем кончится зацепление одной пары зубцов колес, должно начаться зацепление следующей пары, иначе движение прекратится. В обычных зубчатых колесах это условие может быть выполнено в том случае, если малое колесо имеет не меньше шести зубцов. Поэтому очень часто и применяется такое колесо, оно даже в свое время получило название «шестерни».

Однако сейчас под шестерней обычно понимают просто зубчатое колесо; можно услышать о шестеренках с самым различным числом зубцов. Мы не удивляемся этому, подобно тому как не замечаем нелепости выражения «красные чернила»,

хотя первоначально «чернила» означали черную краску, так же как «белила» до сих пор означают белую.

Цевочное зацепление, хотя и просто в изготовлении и расчете, имеет ряд крупных недостатков.

Во-первых, форма зубца зависит как от размеров одного колеса, так и от размеров другого; поэтому, если требуется менять соотношение числа оборотов ведомой и ведущей осей, для каждого цевочного колеса следует изготовить свой набор зубчатых колес. Зубчатые колеса, работающие, например, с цевочным колесом с шестью стержнями, нельзя привести в сцепление с цевочным колесом с десятью или двенадцатью стержнями.

В часах, где всегда работают попарно одни и те же колеса, этот недостаток не сказывается; однако в токарном станке, где приходится подбором шестерен менять соотношение скоростей осей вращения шпинделя и винта подачи резца (например при нарезке винтов разного хода), никогда не пользуются цевочным зацеплением.

Во-вторых, при вращении колес разные участки зубцов будут находиться в соприкосновении с одним и тем же участком стержня. Стержень будет двигаться по поверхности зубца; из-за возникающего при этом трения будут изнашиваться и стержень и зубец, однако зубец будет изнашиваться по всей длине, а стержень только на одном участке. Следует еще иметь в виду, что при одном обороте зубчатого колеса цевочное колесо делает несколько оборотов, в силу чего один и тот же стержень окажется в зацеплении с несколькими зубцами колеса, от этого его износ еще увеличится. Конечно, с этим можно бороться, делая, например, стержни цевок из закаленной стали, а зубчатые колеса из латуни (в часах так и поступают), но все же при больших нагрузках стержни стираются, в особенности если попадает пыль, которая всегда содержит твердые частицы, действующие подобно наждаку.

В-третьих, оба колеса будут вращаться равномерно только при строго определенном расстоянии между осями, если же это расстояние немного увеличится, то при равномерном вращении одной оси вторая ось будет вращаться неравномерно.

Казалось бы, этот недостаток исключает возможность использования такого зацепления в часах, которые являются точнейшим инструментом, однако это не так. В часах и без того все части движутся неравномерно: один раз в секунду (полсекунды или четыре десятых секунды— в зависимости от длины маятника) все колеса приходят в движение и затем останавливаются. Для верного хода часов важно то, чтобы

правильно следовали один за другим эти периоды пуска и остановки всего механизма часов, а не то, как движутся его части в моменты пуска их маятниковым приспособлением.

Однако там, где движение колес происходит непрерывно, неравномерность хода влечет за собой колебание нагрузки на механизм, а вследствие этого и дополнительный износ колес. Кроме того, из-за неравномерности работы механизма возникают периодические изменения напряжений в зубцах, что сопровождается сильным шумом. Кто бывал в цехах, где работает несколько сот зубчатых колес (например на оплеточных станках кабельных заводов), тот знает, как силен этот шум.

Если же колеса не изношены, очертания зубьев правильны и они расположены на должном расстоянии, то колеса работают бесшумно. Иногда для уменьшения шума одно из колес изготовляют из пластического материала: фибры, текстолита, кожи, иногда делают вставные деревянные зубья.

Рассмотрим наиболее широко употребительный вид зубчатых колес: колеса с «эвольвентным» профилем зуба.

Прежде всего поясним, что называется эвольвентой. Слово «эвольвента» происходит от латинского слова «эвольвере» — разворачивать и означает — развертка.

Эвольвентой (разверткой) называют кривую, которая получается следующим образом. Возьмем окружность, в одной из ее точек А закрепим конец нерастяжимой нити, уложим нить вдоль окружности и, прикрепив к свободному концу К острие карандаша, начнем «разворачивать» нить, поддерживая ее все время в натянутом состоянии (рис. 28).

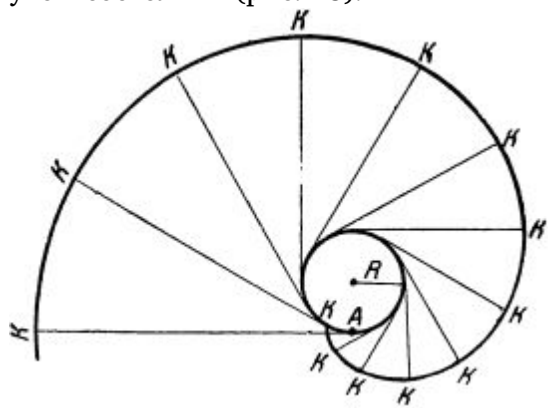

Рис. 28. *Построение эвольвенты.*

В том случае, если острие карандаша будет скользить по бумаге, оно вычертит непрерывную линию. Эта линия и называется эвольвентой круга. Такую же кривую описывает конец натянутой нерастяжимой нити, которая сматывается с

неподвижной катушки.

У наиболее употребительных зубчатых колес зубцы очерчены отрезком эвольвенты. Этот профиль зуба обеспечивает наилучшее сцепление.

Если оси зубчатых колес параллельны друг другу, то передача осуществляется цилиндрическими зубчатыми колесами. Если же оси колес пересекают друг друга под углом, то передача производится с помощью конических зубчатых колес (рис. 29).

Рис. 29. *Конические зубчатые колеса.*

Для зацепления колес необходимо, чтобы все время в зацеплении была хотя бы одна пара зубцов. Однако на практике предпочтительнее, чтобы одновременно в зацеплении было несколько пар смежных зубцов. Дело в том, что при зацеплении одним зубом всегда будут такие мгновения, когда одно колесо касается другого лишь самым концом зубца. В этих случаях, при наличии значительных усилий, легко может быть «срезан» зубец. Для того чтобы избежать этой опасности, необходимо либо изготовлять очень маленькие зубцы, либо делать зубчатые колеса ступенчатыми.

Каждое ступенчатое зубчатое колесо представляет собою как бы стопку одинаковых колес, насаженных на одну ось и несколько смещенных по отношению друг к другу под небольшим углом. Дальнейшим шагом развития являются толстые цилиндрические колеса, на которых прорезаны косые зубцы (рис. 30).

Рис. 30. *Цилиндрические зубчатые колеса с косыми зубцами.*

Колеса с косыми зубцами можно видеть, например, в приспособлении для наводки на фокус в фотоаппарате «Фотокор», где они обеспечивают плавную передачу.

Однако такое сцепление имеет и свои недостатки: при косых зубцах появляются усилия, направленные вдоль осей, которые, следовательно, сдвигают колеса вдоль оси. Чаще всего это устраняют тем, что ставят на одну ось два колеса с косыми зубцами, направленными взаимно противоположно, тогда нарезка зубцов принимает вид «елки» и называется шевронной.

Колеса с такими зубцами часто применяются в механизмах, передающих значительно меняющиеся по величине усилия, например, в лебедках.

С помощью зубчатого колеса и зубчатой рейки производится также преобразование поступательного движения во вращательное и наоборот (рис. 31).

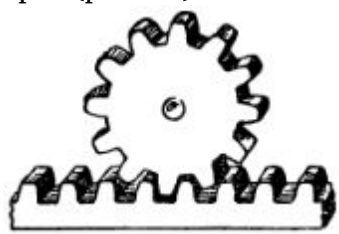

Рис. 31. *Зубчатое колесо и зубчатая рейка.*

Примером такого зацепления могут служить часы, изобретенные древнеримским инженером Витрувием (рис. 32).

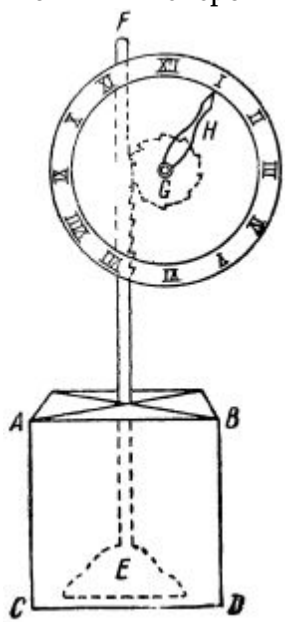

Рис. 32. *Древнеримские водяные часы.*

Поплавок в этих часах поднимался благодаря равномерному подъему воды в сосуде ABCD. На поплавке укреплена зубчатая

рейка F, которая находилась в зацеплении с зубчатым колесом G, на ось которого насажена стрелка H. Поступательное движение поплавка преобразовалось во вращательное движение стрелки.

Таковы вкратце пути применения зубчатых колес, используемых в сложнейших современных механизмах.

Мы видели, таким образом, как из обрубков стволов возникли катки, как из примитивных катков родились простейшие колеса, как появились гребные колеса судов и роторы турбин, как колеса различных видов превратились в орудия производства в гончарном круге, в ткацких и прочих станках и машинах, как из отдельных колес стали собираться сложнейшие механизмы, как окружности колес обросли фигурными зубцами, взаимное зацепление которых позволило осуществлять передачу вращательного движения и регулировку числа оборотов, а также преобразование вращательного движения в поступательное и обратно.

Настоящий обзор не может ни в малейшей степени претендовать на полноту. Но он все же в известной мере иллюстрирует ту огромную роль, которую играет колесо в современной технике. Эволюция применения колеса — этого величайшего изобретения человечества — ждет еще своего историка.

notes

Примечания

1

Помпея при извержении Везувия в 79 г. н. э. была засыпана пеплом и раскопана, примерно, сто лет тому назад.

2

К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные письма, Госполитиздат, 1947, стр. 137.